

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК 621.78.08

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

_____ Кружаев В.В.

«___» _____ 2013

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.2.1 Плана реализации мероприятий Программы развития
УрФУ на 2013 год

ПО ТЕМЕ:

Численное моделирование структурных превращений при охлаждении
стальных изделий
(Заключительный)

Зав.кафедрой

(подпись, дата)

Научный руководитель

(подпись, дата)

Исполнитель

(подпись, дата)

Екатеринбург 2013

РЕФЕРАТ

1. ФИО автора (ов):

Рыжков М. А.

Ryzhkov M. A.

2. Аннотация:

Методика численного моделирования превращений в процессе охлаждения изделий из металлов и сплавов позволяет с технической приемлемой точностью прогнозировать структуру и свойства готовых изделий после того или иного вида термической обработки (нормализация, закалка и т.п.). Методика является универсальной, т.к. позволяет проводить расчеты по заданному алгоритму для изделий любой формы, сечения, изготовленных из любой марки стали и сплавов. В результате становится возможным для материала определенного химического состава установить параметры режима термообработки для получения необходимой структуры и эксплуатационных свойств готовых изделий без проведения дополнительных экспериментов.

Numerical modeling of cooling process and phase transformations in steel parts allows technically accurate predicting of their structure and properties depending on the heat treatment sequence applied (normalization, quenching etc.). The method is universal, as it allows calculations for parts of different design, size and for any steel or alloy grade. As a result, it becomes possible to set optimal heat treatment parameters providing desirable structure and properties of finish products with given chemical composition without time / material consuming experiments.

3. Ключевые слова:

Моделирование, закалка, охлаждение, сталь, сплав, структурные превращения, метод конечных разностей.

4. Тема отчета:

Численное моделирование структурных превращений при охлаждении стальных изделий

Modeling of phase transformations in steel products during cooling process

ВВЕДЕНИЕ

Термическая обработка является одним из ключевых этапов технологического процесса, на котором формируется необходимый комплекс эксплуатационных характеристик изделий из металлов и сплавов. Наиболее распространенным видом термической обработки стальных изделий является закалка, обеспечивающая повышение прочности, и последующий отпуск, формирующий окончательный требуемый уровень механических свойств стали. Скорость, с которой охлаждается изделие при закалке, является определяющей при выборе марки материала.

Одним из способов оценки скорости закалочного охлаждения является термометрирование, заключающееся в записи термических траекторий охлаждения реального изделия в процессе закалки при помощи термопар, расположенных в разных местах по сечению (например, в центре цилиндрической заготовки, на глубине $\frac{1}{2}$ радиуса от поверхности и т.д.) [1 – 3]. Однако данный способ в ряде случаев трудно реализуем, особенно в условиях производства, и требует значительных материально-временных затрат. Поэтому в настоящее время повышается интерес к численному моделированию процессов, протекающих при термической обработке в целом, и процессов закалочного охлаждения в частности [4 – 6].

Предлагаемая в настоящей работе методика моделирования процесса охлаждения изделий простой формы (сортовой прокат, валы, цилиндры, трубы) основана на решении задачи теплопроводности методом конечных разностей, и может быть реализована в большинстве общедоступных программных сред, таких как Microsoft Excel, OpenOffice.

Совместное использование предлагаемого алгоритма с разработанной ранее методикой численного моделирования структурных превращений [7] может существенно ускорить и упростить разработку технологических процессов термической обработки изделий из металла с определенным химическим составом (например, сталь конкретной плавки).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На основе метода конечных разностей разработан упрощенный алгоритм численного моделирования охлаждения стальных изделий простой формы, позволяющий получать стабильное адекватное решение уравнения теплопроводности, удовлетворительно описывающее экспериментальные данные с точностью $\sim 20^\circ\text{C}$ при следующих допущениях:

- модель построена на численном решении уравнения теплопроводности в одномерной постановке;
- коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность стали в расчетах принимаются постоянными.

Используемые допущения позволяют существенно уменьшить объем вычислений при сохранении адекватности получаемого решения.

На примере экспериментальных данных [8] по охлаждению цилиндров диаметром 50 и 100 мм из стали 40Х в масле и на воздухе доказана универсальность предлагаемой методики для моделирования охлаждения изделий разного типоразмера в различных охлаждающих средах.

На примере охлаждения цилиндрических изделий диаметром 100 мм из стали 45 [9] показана возможность решения обратной задачи теплопроводности, когда требуется определить граничные условия (температурную зависимость коэффициента теплоотдачи охлаждающей среды) при закалке стальных изделий.

В статье Майсурадзе М. В., Юдина Ю. В. и Рыжкова М. А. «Методика численного моделирования процесса охлаждения при термической обработке стальных изделий простой формы», опубликованной в журнале «Сталь» (№ 10 за 2013 г., стр. 90-94), подробно излагаются основные этапы и результаты проделанной работы. С публикацией можно ознакомиться в библиотеке УрФУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана упрощенная методика моделирования процесса охлаждения металлических изделий, основанная на численном решении уравнения теплопроводности в одномерной постановке.

Установлено, что расчеты, выполненные по предлагаемой методике с точностью до 20 °С совпадают с опубликованными экспериментальными данными по охлаждению стальных цилиндров разного диаметра в различных охлаждающих средах.

По итогам работы опубликована статья в журнале, входящем в перечень ВАК РФ рецензируемых журналов и изданий для опубликования основных научных результатов исследовательских работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Захаров В. Б., Шабуров Д. В., Юдин Ю. В. и др. Выбор водовоздушных сред для закалки крупных поковок // Сталь. 2003. №3. С. 60-62.
2. Liščić B. System for Process Analysis and Hardness Prediction when Quenching Axially-Symmetrical Workpieces of any Shape in Liquid Quenchants // Materials Science Forum. 2010. Vol. 638-642. P. 3966-3974.
3. Белошапко М. В., Шмырев И. П., Мазаник В. Ф. и др. Водно-воздушная закалка калибров станков ХПТ-250 из стали 9Х2МФ // Металловедение и термическая обработка металлов. 1982. №2. С. 23-25.
4. Jahanian S., Mosleh M. The Mathematical Modeling of Phase Transformation of Steel during Quenching // Journal of Materials Engineering and Performance. 1999. Vol. 8 (1). №2. P. 75-82.
5. Hall D. D., Mudawar I. Experimental and numerical study of quenching complex-shaped metallic alloys with multiple overlapping sprays // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1995. Vol. 38. №7. P. 1201-1216.
6. Sun C. G., Han H. N., Lee J. K. et al. A Finite Element Model for the Prediction of Thermal and Metallurgical Behavior of Strip on Run-out-table in Hot Rolling // ISIJ International. 2002. Vol. 42. №4. P. 392-400.
7. Майсурадзе М. В., Юдин Ю. В., Рыжков М. А. Моделирование структурных превращений в доэвтектоидной низколегированной стали // Сталь. 2012. №9. С. 94-98.
8. Романов П. В., Радченко В. П. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении стали: Атлас термокинетических диаграмм. Ч. 1. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. 51 с.
9. ASM Handbook Volume 04: Heat Treating. ASM International, 1991. 1012 p.